

УДК 621.791.793

**ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА, МОРФОЛОГИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ШТАМПОВОЙ  
СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ****Перфильева А.И.****Научный руководитель – ст. преподаватель Ларионова Н.В.*****Сибирский федеральный университет***

В настоящее время для изготовления деталей машин, приборов, а также инструмента ответственного назначения используются слитки и отливки, полученные с применением электрошлаковых технологий (ЭШТ).

При ЭШП плавление расходуемого электрода и кристаллизация готового слитка происходит одновременно, направление кристаллизации снизу вверх обеспечивает отсутствие усадочной раковины, осевой рыхлости и зональной ликвации. Чем больше расстояние от электрода до слитка, тем равномернее распределение тепла в шлаковой ванне, тем более плоской становится жидкая ванна металла.

При плоской ванне возникает первичная структура слитка с перпендикулярным фронту направлением роста кристаллов, в противоположность глубокой ванне при обычной слитковой кристаллизации (включая и непрерывную разливку), предопределяющий радиальный рост кристаллов. Благодаря тому слиток очень плотный. Оси дендритов занимают в слитке ЭШП до 80 % объема.

Такая технология целесообразна для изготовления крупных заготовок. Однако, большинство изделий (детали машин, инструмент и др.) имеют небольшие размеры. При кокильном литье наиболее просто может быть достигнут эффект направленной кристаллизации и связанное с ним значительное улучшение структуры и чистоты литого металла, достигается некоторое повышение механических характеристик литого металла, повышается стойкость инструмента и эксплуатационную надежность.

Указанные преимущества технологии позволили реализовать на некоторых предприятиях замкнутый цикл производства прокатно-штампового инструмента из отработанных изделий. Так изношенные изделия сваривают в расходуемый электрод, переплавляют в электрошлаковой тигельной печи и полученный жидкий металл вместе со шлаком, использованным при плавке заливают в неохлаждаемые стальные или чугунные кокили.

Использование жидкого перегретого шлака при ЭКЛ дает возможность усовершенствовать и упростить литейную технику: отказаться от применения защитных покрытий для кокилей и устройств для обогрева прибыльной части отливок.

Разработка промышленной технологии ЭКЛ стала возможной с созданием двух основных ее составных частей: технологии электрошлаковой тигельной плавки и техники совместной разливки металла со шлаком плавильного тигля в кокиль.

В данном случае переплав электродов для получения отливок из стали 4Х5МФС осуществляли на установке ОБ 1603 с использованием флюса АНФ-295 на сухом старте. Отливки, полученные ЭКЛ имели форму пластин диаметром 200 и толщиной 80 мм. При конструировании кокиля, прежде всего, учитывались факторы, определяющие направление роста кристаллов при кристаллизации стали. Учитывался также дополнительный обогрев отливки в ее верхней части за счет остаточного тепла шлака, который после переворачивания тигля переливается в кокиль и служит тепловой насадкой. Все это привело к закономерному росту кристаллов снизу-вверх, т.е. кристаллы росли почти перпендикулярно фронту кристаллизации

Твердость после отжига отливок составляла НВ 207-228. Закалка литых заготовок выполнялась от температур на 10–15 °С ниже рекомендуемых для данной стали.

После закалки сохранялась зерно, соответствующее №№ 10–9. После термообработки структура отливок сохраняет некоторую неоднородность.

Качество литого металла во многом определяется степенью его однородности. Одним из элементов неоднородности являются неметаллические включения, образующиеся в процессе кристаллизации. Формирование кристаллической структуры определяется процессами тепломассопереноса, протекающими в переходной зоне твердожидкого состояния, которая состоит из расплава и дендритов. Поведение включений в переходной зоне следует рассматривать до разрыва сплошности среды и образования пор.

Известно, что микролегирование и модифицирование В, Са, Al и РЗМ приводит к измельчению зерна, кроме того уменьшается сегрегация вредных примесей по границам зерен. Для повышения пластичности и вязкости литых штамповых сталей рекомендовано применять в качестве модифицирующих добавок Се, В, а также карбиды, нитриды, карбонитриды титана, вольфрама, хрома, циркония и некоторых других элементов.

При использовании большинства видов литья, в том числе и ЭКЛ в заготовках в основном присутствуют сульфидные, окисульфидные и нитридные включения. Их количество, характер распределения и форма в значительной степени определяет окончательный комплекс свойств готового изделия. На природу НВ и микроструктуру стали оказывает существенное влияние модифицирование РЗМ цериевой группы, их введение способствует формированию более однородной структуры и переводу грубых пленочных включений в глобулярные окисульфидные образования, что способствует повышению прокаливаемости, измельчению зерна и в конечном итоге улучшению механических свойств. Значительный интерес представляют включения сферической формы. Как показали результаты энергодисперсионного анализа, они могут быть идентифицированы как окисульфидные включения, которые содержат значительное количество элементов, входящих в состав мишметалла - Се, Nd, La. Присутствие этих модификаторов в значительной степени способствуют процессу коагуляции. Увеличение размеров НВ в условиях направленной кристаллизации, которая может быть реализована за счет специальной конструкции кокиля при ЭКЛ, должно сопровождаться уменьшением их содержания в отливке.

Для подтверждения этого были проведены исследования по определению НВ в отливках ЭКЛ без модифицирования и модифицированные мишметаллом в расчетном количестве 0,15–0,20%. Все отливки перед модифицированием были раскислены алюминием в количестве 0,2%. Изучение и оценка неметаллических включений проводилась на оптическом микроскопе на нетравленных микрошлифах при увеличениях  $\times 500$  и  $\times 800$ . В образцах № 1-3, которые были вырезаны из отливок ЭКЛ, полученных по обычной технологии общая загрязненность НВ в 2-3 раза превышает загрязненность образцов № 4-6, при получении которых применялось модифицирование мишметаллом.

Модифицирование приводит не только к уменьшению общего количества НВ, но и к изменению их размерного соотношения. После модифицирования в отливках уменьшается доля крупных НВ, в частности, уменьшается количество включений, размеры которых превышают 5 мкм, при этом суммарное количество средних и мелких включений несколько уменьшается. Механические свойства после стандартной термической обработки, обеспечивающей твердость HRC 46–47, и прежде всего, ударная вязкость модифицированной стали несколько повышалась и составляла 0,3–0,35 МДж/м<sup>2</sup> по сравнению с 0,2–0,25 МДж/м<sup>2</sup> у немодифицированных образцов. НВ оказывают влияние не только на механические свойства, но и на качество получаемой продукции.

Выводы: 1. Модифицирование сталей мартенситного класса микшметаллом цериевой группы в количестве 0,15 – 0,20 % приводит к уменьшению общего количества неметаллических включений.

2. При модифицировании происходит изменение соотношения крупных и мелких НВ, количество крупных НВ уменьшается более чем в 3 раза.